

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-139413

(43)Date of publication of application : 31.05.1996

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
H01S 3/103

(21)Application number : 06-273697

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 08.11.1994

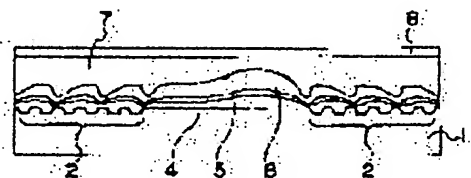
(72)Inventor : OGITA SHOICHI

(54) WAVELENGTH VARIABLE SEMICONDUCTOR LASER AND ITS MANUFACTURE

(57)Abstract:

PURPOSE: To facilitate manufacturing and improve gain in a wide wavelength variable band, regarding a wavelength variable semiconductor laser wherein the oscillating wavelength of a laser can be freely changed in a wide band.

CONSTITUTION: A wavelength variable semiconductor laser consists of the following; diffraction gratings 2 which are formed unevenly toward the light traveling direction in a distributed reflecting region A on the upper surface of a substrate 1, a quantum well layer 5 which is formed by gently and periodically changing the film thickness along the light traveling direction above the diffraction gratings 2, a first electrode 9 formed on the lower surface of the substrate 1, and second electrodes 11 which are formed above the quantum well layer 5 via semiconductor layers 6, 7, 8.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C): 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-139413

(43)公開日 平成8年(1996)5月31日

(51)Int.Cl.⁶

H 0 1 S 3/18
3/103

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平6-273697

(22)出願日 平成6年(1994)11月8日

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

(72)発明者 荻田 省一

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

富士通株式会社内

(74)代理人 弁理士 岡本 啓三

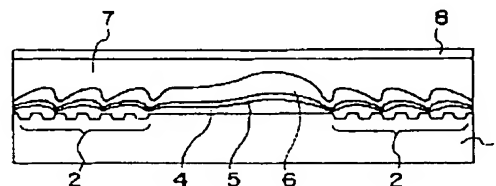
(54)【発明の名称】 波長可変半導体レーザ及びその製造方法

(57)【要約】

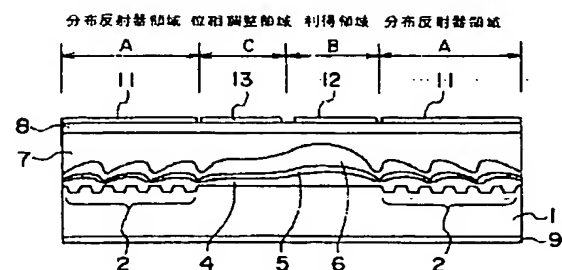
【目的】 レーザの発振波長を広い帯域にわたって自由に変えられる波長可変半導体レーザに関し、作製を容易にし、且つ広い波長可変帯域で利得を大きくすること。

【構成】 基板1上面の分布反射領域Aで光進行方向に向かって凹凸に形成された回折格子2と、前記回折格子2の上方で光進行方向に沿って膜厚が緩やかに周期的に変化して形成された量子井戸層5と、前記基板1の下面に形成された第1の電極9と、前記量子井戸層5の上に半導体層6、7、8を介して形成された第2の電極11を含む。

(a)



(b)



【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板上面の分布反射領域で光進行方向に向かって凹凸に形成された回折格子と、
前記回折格子の上方で光進行方向に沿って膜厚が緩やかに周期的に変化して形成された量子井戸層と、
前記基板の下面に形成された第 1 の電極と、
前記第 1 の量子井戸層の上に半導体層を介して形成された第 2 の電極とを有することを特徴とする波長可変半導体レーザ。

【請求項 2】前記量子井戸層は、前記回折格子の近傍にある利得領域の前記基板の平坦面上で膜厚が緩やかに変化して延在し、該利得領域の前記量子井戸層の上には半導体層を介して第 3 の電極が形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項 3】前記分布反射領域と前記利得領域の間にある位相調整領域の前記基板の平坦面上において前記量子井戸層が膜厚一定に形成され、該位相調整領域の前記量子井戸層の上には半導体層を介して形成された第 4 の電極が形成されていることを特徴とする請求項 2 記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項 4】前記利得領域における前記量子井戸層のバンドギャップエネルギーは、前記分布反射領域及び前記位相調整領域の前記量子井戸層のバンドギャップエネルギーに比べて同じか低いことを特徴とする請求項 2 又は 3 記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項 5】前記回折格子の凹凸のピッチは一定であることを特徴とする請求項 1 記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項 6】前記基板は、二元又は三元の半導体混晶基板から形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の波長可変半導体レーザ。

【請求項 7】基板上面の分布反射領域で光進行方向に向かって凹凸の回折格子を形成する工程と、
前記基板上に誘電体膜を形成する工程と、
前記凹凸の回折格子の上方で光進行方向に向かって幅が周期的に変化する開口部を誘電体膜に形成する工程と、
前記開口部から露出した前記基板上面に半導体を選択成長することにより、回折格子の上方で光進行方向に沿って膜厚が緩やかに周期的に変化する量子井戸層を含む第 1 の半導体層を形成する工程と、
前記基板の下面に第 1 の電極を形成する工程と、
前記量子井戸層の上に第 2 の半導体層を介して第 2 の電極を形成する工程とを有することを特徴とする波長可変半導体レーザの製造方法。

【請求項 8】前記回折格子の近傍の利得領域において、前記基板の平坦面上の前記誘電体膜の前記開口部の幅を変化させて、前記開口部から露出した前記基板上に前記半導体を選択成長することにより前記利得領域で緩やかに膜厚が変化する前記量子井戸層を形成する工程を有することを特徴とする請求項 7 記載の波長可変半導体レー

ザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、波長可変半導体レーザ及びその製造方法に関し、より詳しくは、レーザの発振波長を広い帯域にわたって自由に変えられる波長可変半導体レーザ及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信は、公衆電話回路の幹線系用として幅広く普及している。最近では、高品位 TV 画像の伝送などが可能になる広帯域 ISDN などにより一層の大容量通信サービスが計画されており、一般家庭を含む加入者系の通信網にまで光ファイバが導入される日もそう遠くない状況となってきた。このようなシステムでは、一本の光ファイバあたりの伝送量を増大させるために、複数の異なる波長の光に別々の信号をのせて同時に伝送する光波長多重技術が必要となる。そのためには、レーザの発振波長を広い帯域にわたって自由に調整できる波長可変レーザが必要となる。

【0003】半導体レーザに注入する電流により波長可変可能な半導体レーザの代表的なものとして、図 5 (a) に示すような分布反射器型レーザ (DBR レーザ) がある。この DBR レーザは、分布反射器領域 51 に凹凸の回折格子 61 を有する n 型の半導体基板 60 と、半導体基板 60 上に形成された光導波層 62 と、利得領域 52 の光導波層 62 上に形成された活性層 63 と、活性層 63 及び光導波層 62 を覆う p 型クラッド層 64 と、p 型クラッド層 64 上の分布反射器領域 51、利得領域 52、及び位相調整領域 53 に各々分離されて形成された p 側電極 65a ~ 65c と、半導体基板 60 下面に形成された n 側電極 66 とを有している。

【0004】この DBR レーザにおいては、分布反射器領域 51 の n 側電極 66 と p 側電極 65a の間に電流を流すことにより、回折格子 61 の周辺の層の屈折率を変えて回折格子により反射される光波長を変化させている。また、位相調整領域 53 に電流を流すことにより定在波の位相を変え、これによって光波長をさらに調整している。

【0005】しかし、この構造では、分布反射器領域 51 における回折格子 61 のピッチ及び周期が一定であり、反射可能な波長帯域は分布反射器領域 51 の半導体材料の屈折率の変化によって決定されてしまうので波長可変帯域が狭く、さらに帯域幅を広くすることが要求される。現在報告されている例では、シフトする波長は最大で 10nm 程度が限界となる。

【0006】この限界を越える波長可変機能を実現するために、周期の異なる回折格子を複数種類集積化した図 5 (b) のような新しい波長可変レーザが次の文献 [1] で報告されている。

[1] Yuichi TOHMORI et al., OPTOELECTRONICS-Device

e and Technologies Vol. 9, No. 2, pp177-192, June, 1994

この半導体レーザでは、利得領域 52 の前と後の分布反射器領域 51 において集積可した各回折格子の溝 67 のピッチを例えば光進行方向に向かって徐々に大きくし、さらにこれを周期的に繰り返すことで広い波長可変が可能になる。文献〔1〕では、光ファイバにおける 1.55 μm 帯最低損失帯域をほぼカバーできる 50 nm 以上の波長可変が実現される、と記載されている。

【0007】なお、図 5 (b) において、分布反射器領域 51 では利得領域 52 の活性層 63 の端部に接続される第 2 の光導波層 68 が第 1 の光導波路層 62 上に形成され、その他、図 5 (a) と同じ符号は同じ要素を示している。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかし、図 5 (b) のような半導体レーザを実際に作製する際に、半導体基板 60 上に周期の異なる回折格子 67 を数多く形成することは非常に困難であるという問題がある。従って、実用化に当たっては従来技術のように一様な回折格子によって同様な機能を実現する方法が必要となる。

【0009】また、分布反射器領域 51 での波長可変帯域が広がっても利得領域 52 でのレーザ領域の帯域が十分に広がらないと、発振波長が長波長端や短波長端でのレーザ発振が非常に困難になるという問題がある。従って、十分に広いレーザ利得帯域を実現する必要がある。本発明はこのような問題に鑑みてなされたものであって、作製が容易で、且つ広い波長可変帯域で利得が大きな波長可変半導体レーザ及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記した課題は、図 2 (b) に例示するように、基板 1 上面の分布反射領域 A で光進行方向に向かって凹凸に形成された回折格子 2 と、前記回折格子 2 の上方で光進行方向に沿って膜厚が緩やかに周期的に変化して形成された量子井戸層 5 と、前記基板 1 の下面に形成された第 1 の電極 9 と、前記第 1 の量子井戸層 5 の上に半導体層 6, 7, 8 を介して形成された第 2 の電極 11 とを有することを特徴とする波長可変半導体レーザによって解決する。

【0011】または、前記量子井戸層 5 は、前記回折格子 2 の近傍にある利得領域 B の前記基板 1 の平坦面上で膜厚が緩やかに変化して延在し、該利得領域 B の前記量子井戸層 5 の上には半導体層 6, 7, 8 を介して第 3 の電極 12 が形成されていることを特徴とする波長可変半導体レーザによって解決する。または、前記分布反射領域 A と前記利得領域 B の間にある位相調整領域 C の前記基板 1 の平坦面上において前記量子井戸層 5 が膜厚一定に形成され、該位相調整領域 C の前記量子井戸層 5 の上には半導体層 6, 7, 8 を介して形成された第 4 の電極

13 が形成されていることを特徴とする波長可変半導体レーザによって解決する。

【0012】または、前記利得領域 B における前記量子井戸層 5 のバンドギャップエネルギーは、前記分布反射領域 A 及び前記位相調整領域 C の前記量子井戸層 5 のバンドギャップエネルギーに比べて同じか低いことを特徴とする波長可変半導体レーザによって解決する。または、前記回折格子の凹凸のピッチは一定であることを特徴とする波長可変半導体レーザによって解決する。

【0013】前記基板 1 は、二元又は三元の半導体混晶基板から形成されていることを特徴とする波長可変半導体レーザによって解決する。前記量子井戸層は、多重量子井戸層であることを特徴とする波長可変半導体レーザによって解決する。または、基板 1 上面の分布反射領域 A で光進行方向に向かって凹凸の回折格子 2 を形成する工程と、前記基板 1 上に誘電体膜 3 を形成する工程と、前記凹凸の回折格子 2 の上で光進行方向に向かって幅が周期的に変化する開口部 3a を誘電体膜 3 に形成する工程と、前記開口部 3a から露出した前記基板 1 上面に半導体を選択成長することにより、回折格子 2 の上方で光進行方向に沿って膜厚が緩やかに周期的に変化する量子井戸層 5 を含む第 1 の半導体層 4, 5, 6 を形成する工程と、前記基板の下面に第 1 の電極 9 を形成する工程と、前記量子井戸層 5 の上に第 2 の半導体層 7, 8 を介して第 2 の電極 12 を形成する工程とを有することを特徴とする波長可変半導体レーザの製造方法によって解決する。

【0014】または、前記回折格子 2 の近傍の利得領域 B において、前記基板 1 の平坦面上の前記誘電体膜 3 の前記開口部 3a の幅を変化させて、前記開口部 3a から露出した前記基板 1 上に前記半導体を選択成長することにより前記利得領域 B で緩やかに膜厚が変化する前記量子井戸層 5 を形成する工程を有することを特徴とする波長可変半導体レーザの製造方法により解決する。

【0015】

【作 用】本発明によれば、分布反射器領域における基板上面の回折格子の上で膜厚が周期的に変化する量子井戸層を形成しているため、量子井戸層及びその近傍の半導体層での屈折率が等価的に変化し、形状で回折格子の凹凸のピッチを変えることなく、実質的に回折格子の周期が変化することに等しくになり、分布反射器の形成が容易になる。

【0016】量子井戸層の膜厚を変える技術として、開口部の幅が変化する誘電体膜を基板上に形成し、その開口部を通して基板上に半導体を選択成長することにより膜厚が変化することを利用する。また、分布反射器領域に隣接する利得領域での量子井戸層の膜厚を緩やかに変化させているので、バンドギャップエネルギーの変化が多くなってレーザ利得は幅の広い波長帯域で存在し、分布反射器で選択される波長帯域が広がる。

【0017】

【実施例】そこで、以下に本発明の実施例を図面に基づいて説明する。図1(a)、(b)は、本発明に係る一実施例の可変波長半導体レーザの製造に使用する半導体基板の断面図と、選択成長に使用するマスクを示す平面図である。図2(a)、(b)は、可変波長半導体レーザを製造する際の半導体層成長を示す断面図である。

【0018】まず、図1(a)に示すように、n-InP 基板1の分布反射器領域Aの上面に周期240nm、深さ25nmの均一な溝2aからなる回折格子2を形成する。分布反射器領域Aは、n-InP 基板1のうちの光進行方向に対して前端及び後端寄りに配置され、それらの間の平坦な面は利得領域Bと位相調整領域Cとなっている。また回折格子2は、既に知られている干渉露光法により形成されたストライプ状のレジストマスク（不図示）を使用するリソグラフィ法により形成され、光進行方向に凹凸となるように形成する。

【0019】次に、n-InP 基板1のうち回折格子2が形成された面上に、誘電体膜3、例えばSiO₂膜を熱CVD法により500nmの厚さに形成する。その後、フォトリソグラフィにより誘電体膜3をパターンニングして、図1(b)に示すように、2つの分布反射器領域A、利得領域B及び位相調整領域Cに連続した1つの開口部3aを形成する。

【0020】その開口部3aは、利得領域Bでは中央が狭い幅の形状を有し、位相調整領域Cでは利得領域Bよりも広く均一な幅の形状を有し、2つの分布反射器領域Aではその両側部が端部にかけて緩やかに広がる鋸歯状パターンが周期的に繰り返す形状を有している。次に、図2(a)に示すように、開口部3aを有する誘電体膜3をマスクに使用して、n-InP 基板1の上に、組成約1.1μm、不純物濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のn-GaInAsP 層（クラッド層）4と、ノンドープGaInAsP 量子井戸層5と、組成約1.1μm、不純物濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp-GaInAsP 層（クラッド層）6と、不純物濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ のp-InP 層7と、組成約1.1μm、不純物濃度 $5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ のp⁺-GaInAsP コンタクト層8を有機金属成長法により順次成長する。この場合の量子井戸層5は、例えば組成1.58μmのGaInAsP 井戸層と組成1.3μmのGaInAsP 障壁層を5周期繰り返した多重量子井戸により構成する。

【0021】以上のようなマスクを使用すると、各化合物半導体層は開口部3a内にのみ選択成長し、しかも開口部3aの幅の狭い部分では厚く成長され、広い部分では薄く成長される。これは、誘電体膜3の面積が広い場所の近傍ではn-InP 基板1の面積当たりの成長ガス供給量が多く、狭い場所の近傍ではn-InP 基板1の面積当たりの成長ガス供給量が少ないからである。

【0022】従って、p-GaInAsP 層6までの層は、図2(a)に示すように利得領域Bではその中央で最も厚く、

また位相調整領域Cでは端部を除いて一定の厚さを有し、さらに、分布反射器領域Aでは位相調整領域C及び利得領域B寄りの部分で厚くなる凸部が素子両端に向けて周期的に繰り返して形成されている。なお、p-InP 層7は数μmと厚く形成するので、開口部3aの形状にほとんど影響されずにその上面がほぼ平坦となる。

【0023】誘電体膜3の開口部3aのパターン形状は、例えば利得領域Bにおいてn-GaInAsP 層4が0.2μm、ノンドープGaInAsP 量子井戸層5が20nm（GaInAsP 井戸層が5nm、GaInAsP 障壁層が15nm）、p-GaInAsP 層6が0.1μm、p-InP 層7が2.5μm、p⁺-GaInAsP 層8が0.5μmとなるようにし、また、分布反射器領域AではGaInAsP 量子井戸層5内の井戸層（不図示）の厚さが利得領域Bの中心の厚さに対して1/2～1/5の厚さに連続的に変化する凸部が周期的に繰り返されるように設定する。

【0024】なお、量子井戸層5の膜厚の変化に伴って組成も緩やかに変化する。この後に、誘電体膜3を除去し、さらに、n-InP 基板1上の各化合物半導体層をストライプ状にパターンニングした後に、光進行方向に対して両側部に埋め込み構造を形成する。その埋め込み構造は、特に図示しないが、p-InP 層、n-InP 層、p-InP 層を順次成長して構成される。

【0025】その埋め込み構造を形成した後に、図2(b)に示すように、n-InP 基板1の下にn電極9を形成し、分布反射器領域A、利得領域B及び位相調整領域Cのp⁺-GaInAsP コンタクト層9の上にp電極11、12、13を互いに分離して形成する。分布反射器領域Aの上下のn電極9とp電極11とその間の半導体層によって分布反射器が構成される。

【0026】このような構造の半導体レーザにおいて、分布反射器領域Aで周期的に形成される複数の凸部について説明する。n-InP 基板1上の各化合物半導体層の膜厚を等価的に表すと、図3のようになり、n-InP 基板1上のノンドープGaInAsP 量子井戸層5は利得領域Bに近づくにつれてリニアに厚くなっていく。この場合、量子井戸層5の厚さが連続的に変化する、厚さ方向での光の屈折率が、光の閉じ込めが場所によって異なるので、屈折率も等価的に変化する、均一な回折格子2上においてもその厚さに応じて回折格子2の実質的な周期が変化することになる。言い換えると、量子井戸層5が厚くなるほど屈折率が大きくなり、回折格子2による反射波長が長くなる（反射波長 $\lambda = 2 \times \text{回折格子ピッチ} \Lambda \times \text{屈折率} n$ ）。この技術を用いることにより広い波長可変帯域をもつ分布反射器を容易に作成することが可能になる。

【0027】なお、屈折率と同時に回折格子2部分と光導波路部分の距離も変化する、周期と同時に結合効率も変化する、光の屈折率が大きく回折格子の周期が等価的に短くなる場合に結合効率が大きくなるが、レーザ利得ピークを若干、長波長側になるように設定してやれば

大きな問題とはならない。ところで、分布反射器領域 A に隣接する利得領域 B での各化合物半導体層の光進行方向の断面を図に描くと図 4 (a) に示すような構造となり、量子井戸層 5 の厚さはその中央で最も厚くなっている。

【0028】量子井戸層 5 においてはレーザ利得のピーク波長が膜厚によって大きく変化するので、広い波長帯において全体のレーザ利得は図 4 (b) に示すように光進行方向の各点（例えば図 4 (a) の X, Y, Z）における利得の重ね合わせとなり、利得のピークの値は若干低下するが、利得帯域が大幅に広がる。波長帯域が広がるのは、利得領域 B での量子井戸層 5 のエネルギーバンドギャップが図 4 (c) に示すように量子効果によって膜厚が厚い部分で小さくなり、薄い部分で大きくなるからでもある。図 4 (a) 中破線は、量子井戸層 5 の膜厚が均一な場合を示している。

【0029】なお、量子井戸層 5 の膜厚の変化を調整することによって、上記したような分布反射器における結合効率の分布により生じる閾値利得の変化を打ち消すような利得分布を形成することも可能である。上記のように構成された半導体レーザでは、分布反射器領域 A の電極 9、12 間に流す電流によって波長を選択し、位相変調領域 C の電極 9、13 間に流す電流によって光の位相を変調することになる。また、利得領域の量子井戸層 5 の膜厚を最も厚くすることにより、量子井戸層 5 のうち利得領域 B 以外のバンドギャップエネルギーが利得領域 B よりも大きくなるようにすると、分布反射器領域 A や位相変調領域 C で光吸収されることなく光が進行する。

【0030】上記した実施例では、量子井戸層として GaInAsP を用いているが、GaInAs などその他の半導体材料を用いても同じようにして設計することも可能である。また基板についても InP に限らずに GaAs 基板を用いた系やその他の混晶を用いた系でも同様である。さらに、化合物半導体層を選択成長する際に使用する誘電体膜の開口部のパターン形状についても図 1 に限定されるものではない。

【0031】なお、上記した説明では、基板を構成する材料として InP を用いているが、その他の二元半導体混晶材料又は三元半導体混晶材料を使用してもよい。また、基板の上に形成される半導体層は、基板と格子定数が異なる材料から形成してもよく、例えば歪み量子井戸層を用いてもよい。

【0032】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、分布反射器領域における基板上面の回折格子の上で膜厚が周期的に変化する量子井戸層を形成しているの、量子井戸層及びその近傍の半導体層での屈折率が等価的に変化し、形状で回折格子の凹凸のピッチや周期を変えることなく、実質的に回折格子の周期が変化することに等しくになり、分布反射器を容易に形成できる。

【0033】この場合、量子井戸層の膜厚を変える技術として、開口部の幅が変化する誘電体膜を基板上に形成し、その開口部を通して基板上に半導体を選択成長することにより膜厚が変化することを利用するので、分布反射器の作成が容易になる。また、分布反射器領域に隣接する利得領域での量子井戸層の膜厚を緩やかに変化させているので、バンドギャップエネルギーの変化が多くなってレーザ利得は幅の広い波長帯域で存在し、分布反射器で選択される波長帯域を広くできる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の実施例に係る半導体レーザを構成する半導体基板の断面図とその半導体基板上に選択成長する際に使用するマスクの平面図である。

【図 2】本発明の実施例に係る半導体レーザを構成する各半導体層の選択成長された状態を示す断面図である。

【図 3】本発明の実施例に係る半導体レーザを構成する分布反射器の一部を示す断面図である。

【図 4】本発明の実施例に係る半導体レーザを構成する利得領域を示す断面図と、その利得分布及びエネルギーバンドギャップ分布を示す解く製図である。

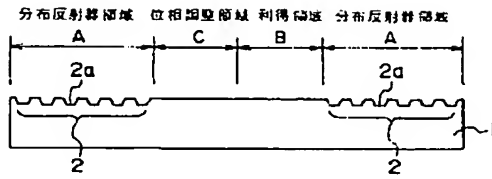
【図 5】従来の第 1 例と第 2 例を示す半導体レーザの断面図である。

【符号の説明】

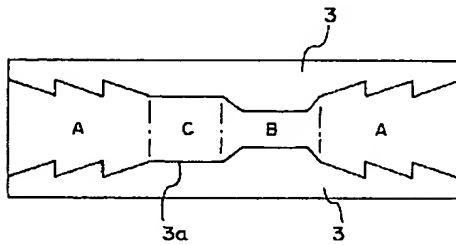
- 1 InP 基板
- 2 回折格子
- 3 誘電体膜
- 3 a 開口部
- 4 n-GaInAsP 層
- 5 GaInAsP 量子井戸層
- 6 p-GaInAsP 層
- 7 p-InP 層
- 8 p⁺-GaInAsP コンタクト層
- 9 n 電極
- 11、12、13 p 電極

【図1】

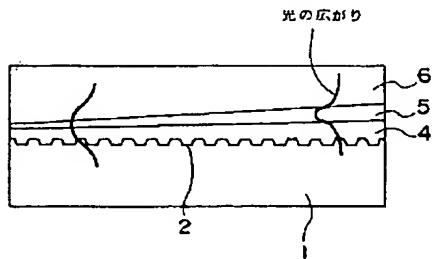
(a)



(b)

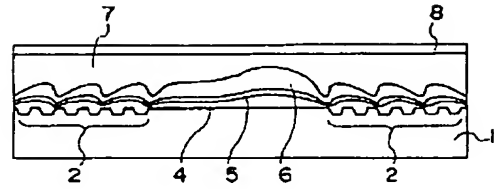


【図3】

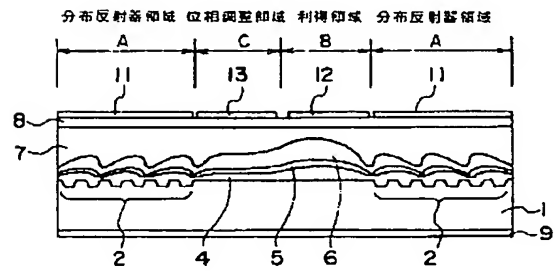


【図2】

(a)

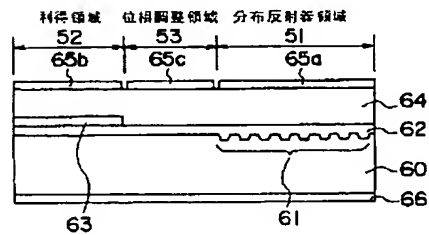


(b)

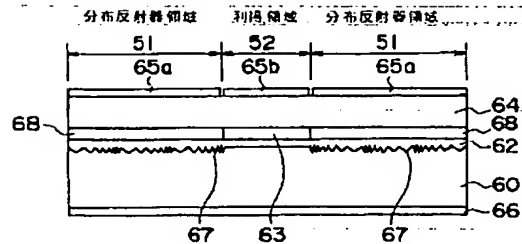


【図5】

(a)



(b)



【図4】

